Journal of Agricultural Machinery
Vol. 8, No. 1, Spring - Summer 2018, p. 93-104

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد 8، شماره 1، نیمسال اول 1397، ص 104-93

برنامه‌ریزی مسیر حرکت بهینه ماشین در مزارع مستطیلی‌شکل با استفاده از الگوریتم ژنتیک

ترحم مصری گندشمین[1*] - فروغ کیهانی نسب[2] - غلامحسین شاهقلی[3] - ابراهیم عبداللهی[4]

تاریخ دریافت: 1395/02/07
تاریخ پذیرش: 1395/05/27

چکیده

ماشین‌های کشاورزی مختلف برای انجام عملیات کشاورزی باید از یک سر مزرعه روی مسیرهای موازی که کل سطح مزرعه را می‌پوشانند، حرکت کرده و به انتهای مزرعه برسند، شروع مسیر بعدی پس از دور زدن و از مسیر کناری، داخل مزرعه انجام خواهد شد. یکی از مشکلات اصلی الگوهای حرکت متداول در مزرعه، اتلاف زمانی دور زدن در انتهای مزرعه است که تأثیر شگرفی در کاهش بازده مزرعه‌ای خواهد داشت. الگوهای مرسوم مختلفی برای نحوه حرکت ماشین در مزرعه به‌کار گرفته می‌شود که از جمله می‌توان به الگوی تردد پیوسته، مارپیچ، دور تا دور و بلوک‌بندی اشاره کرد. تمام این الگوها در راستای کاهش مقدار مسافت غیرمفید طی شده هنگام دور زدن سر مزرعه ابداع شده‌اند. هدف از این پژوهش، کاهش مسافت غیرمفید طی‌شده توسط ماشین‌های کشاورزی، حین دور زدن در منطقه سرمزرعه برای حرکت از یک مسیر به مسیر بعدی با استفاده از الگوریتم ژنتیک و به تبع آن افزایش بازده مزرعه‌ای می‌باشد. در این مقاله با استفاده از الگوریتم ژنتیک، الگویی بهینه برای حرکت ماشین‌های کشاورزی در مزرعه مستطیلی‌شکل شبیه‌سازی و در نهایت این الگوی بهینه در قالب نمودار با الگوهای سنتی مقایسه شده است. پیروی از الگوی تردد بهینه به کمک الگوریتم هوشمند ژنتیکی با اجتناب از روش‌های دور زدن طولانی، باعث کاهش مسافت و زمان غیرمفید طی شده توسط ماشین‌های کشاورزی و افزایش بازده مزرعه‌ای آنها گردید. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که الگوی بهینه قادر است به‌طور میانگین 45٪ در مسافت غیرمفید و 47٪ در زمان غیرمفید، صرفه‌جویی نماید.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم ژنتیک، الگوی تردد، بازده مزرعه‌ای، برنامه‌ریزی مسیر

مقدمه

در سال‌های اخیر پیشرفت و توسعه سیستم‌های هدایت خودکار در ماشین‌ها، به افزایش علاقه برای برنامه‌ریزی مسیر حرکت به کمک ابزارهای محاسباتی هوش مصنوعی منجر شده‌است (Keicher and Seufer, 2000). تحقیقات صورت‌گرفته در این حوزه بر چندین مسأله نظیر کاهش تعداد دور زدن با کاهش پیچیدگی شکل زمین و تفکیک مزرعه به قطعات کوچکتر و شکل ساده‌تر، تأکید دارند. همچنین شکل مزرعه، اندازه و نوع ماشین مورد استفاده، خودرو یا دنباله‌بند بودن به‌لحاظ قابلیت مانور ماشین از جمله مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در تعیین الگوی مناسب حرکت در مزرعه است (Mesri Gundoshmian, 2016). امروزه ماشین‌های کشاورزی برای انجام عملیات کشاورزی و به منظور پوشش کل مزرعه، می‌بایست در مزرعه حرکت کنند که همواره در حین انجام کار، بخشی از مسافت را بدون انجام کار مفید طی می‌کنند. در تراکتورها و ماشین‌های کشاورزی متداول، امر هدایت، متکی بر انسان است. در واقع راننده با تشخیص موقعیت فعلی در مزرعه، بررسی نقطه هدف، انتخاب مسیر و هدایت ماشین در مسیر را به انجام می‌رساند (Mazidi *et al.*, 2014)، به‌گونه‌ای که استراتژی عملیات بدون کمک ابزارهای کامپیوتری بر پایه عادت، نوع وظیفه، ویژگی ماشین و تجربیات شخصی طراحی می‌شود که از مشخصات آن تکراری بودن الگو و عدم اصلاح پیوسته آن است، که این استراتژی بهینه نیست. حال اگر شکل مزرعه پیچیده باشد یا موانعی درون مزرعه وجود داشته باشد، انتخاب مسیرهای عملیاتی درون مزرعه بسیار پیچیده‌تر خواهد شد، لذا ضرورت استفاده از روش‌های بهینه‌سازی در تعیین الگو و مسیر بهینه ماشین در مزرعه بسیار کارگشا خواهد بود و هرگونه الگوی بهینه‌سازی‌شده در مسیریابی ماشین‌های کشاورزی که منجر به کاهش زمان غیرمفید گردد، تأثیر قابل‌توجهی بر بهبود بازده مزرعه‌ای خواهد داشت. اگرچه، با در نظر گرفتن رابطه انسان و ماشین، پیاده کردن نقشه مسیر مبتنی بر نرم‌افزار برای راننده تراکتور سخت و پیچیده می‌شود اما با استفاده

1- دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی
2- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی
3- دانشیار، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی
4- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی بیوسیستم، دانشگاه محقق اردبیلی
(*- نویسنده مسئول: Email: mesrigtm@uma.ac.ir)
DOI: 10.22067/jam.v8i1.55463

از برنامه‌ریزی کامپیوتری و پردازنده‌های با سرعت بالا و به‌کارگیری الگوریتم‌های هوشمند در سامانه‌های ناوبری خودکار، می‌توان هزینه‌ها را کاهش‌داد و به راه‌حل‌های مقرون به‌صرفه‌تری دست‌یافت (Moghimi *et al*., 2015). در میان روش‌های بهینه‌سازی، الگوریتم ژنتیک یا الگوریتم تکاملی به علت داشتن ویژگی‌های خاص در لقاح و جهش مجموعه جواب‌های اولیه برای دستیابی به مجموعه جواب‌های مناسب و تکرار این عمل تا رسیدن به جواب بهینه مسأله، به‌طور وسیعی در حل مسأله بهینه‌سازی مسیرها به‌کارگرفته می‌شود.

در زمینه استفاده از روش‌های بهینه‌سازی در برنامه‌ریزی مسیر ماشین‌های کشاورزی در مزرعه تاکنون پژوهش‌های مختلفی انجام گرفته است. تعدادی از پژوهشگران راه‌حلی را برای برنامه‌ریزی مسیر بهینه برای عملیات در زمین‌های کشاورزی با استفاده از بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها ارائه کرده‌اند. آنها رویکرد الگوریتمی برای تولید الگوهای B، مبتنی بر بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها را به این منظور ارائه داده‌اند (Bakhtiari *et al*., 2011). الگوهای B، نوع جدیدی از الگوهای پوشش مزرعه هستند و با استفاده از یک فرآیند بهینه‌سازی ترکیبی، معیارهای عملیاتی از جمله زمان عملیات، مسافت طی‌شده غیرمفید، مصرف سوخت و غیره را به حداقل می‌رسانند. در واقع بهینه‌سازی کلونی مورچه‌ها برای حل مشکل بهینه‌سازی گراف موجود در ایجاد الگوهای B، انتخاب شده است.

محققان دریافته‌اند که تقسیم مرزهای پیچیده مزرعه به شکل‌های ساده‌تر ممکن است فرآیند بهینه‌سازی را بهبود ببخشد. آنها بیان داشتند که بهره‌گیری از الگوریتم تفکیک ذوزنقه‌ای، تکنیکی قابل‌قبول برای تقسیم مزرعه به بخش‌های فرعی است. فرآیند تفکیک با ترسیم خطوطی میان رئوس چندضلعی آغاز می‌شود که سلول‌های حاصل از ترسیم این خطوط تحت عنوان ذوزنقه منظور خواهند شد. پوشش هر زیرناحیه (سلول) از طریق حرکات رفت و برگشتی ساده کنار هم حاصل خواهد شد. به‌طور متداول مسیرهای رفت و برگشت به‌صورت موازی و کنار هم رسم شده‌اند و الگوی بهینه نیز بر حرکت روی نزدیک‌ترین مسیر مجاور تأکید دارد. آنها شکل اصلاح‌شده‌ای از تفکیک سلولی را تحت‌عنوان تفکیک "Boustrophedon" ارائه دادند که در این رویکرد سلول‌ها به‌گونه‌ای با هم ترکیب می‌شوند که تعداد حرکات اضافی و تکراری کاهش یابد (Choset and Pignon, 1997). همچنین محققان الگوریتمی را ایجاد کردند که امکان تجزیه بهینه مزرعه و انتخاب مسیر کاری بهینه را برای مزارع فرعی فراهم می‌کرد. در این پژوهش ابتدا یک نمایش هندسی از شکل زمین برای فرمولاسیون مسأله برنامه‌ریزی مسیر ایجاد شد، سپس جهت مسیر بهینه و تفکیک بهینه مزرعه برای حل مسأله مورد جستجو قرارگرفت. مکانیزم جستجوی الگوریتم توسط تابع هزینه به‌دست‌آمده از تحلیل انواع مختلف دور زدن در سر مزرعه هدایت شد و با استراتژی تفکیک و تصرف پیاده‌سازی گردید. در نتیجه الگوریتم، زمین را در چندین ناحیه تفکیک کرده و سپس هر ناحیه را به‌طور جداگانه از لحاظ بهترین مسیر کاری مورد ارزیابی قرار می‌داد (Jin and Tang, 2010). سایر پژوهشگران با استفاده از الگوریتم ژنتیک روشی را برای حل مسأله برنامه‌ریزی مسیر به‌منظور پوشش سطح مزرعه ارائه دادند که در این روش، ابتدا شکل مزرعه و موانع تعیین شد، سپس نواحی مورد نیاز برای حرکت، به شبکه‌ای از نقاط فاصله‌دار در سرتاسر مزرعه تبدیل شدند. فاصله‌بندی شبکه معادل عرض کار ماشین تعیین شد که تمام نواحی قابل حرکت به‌جز موانع را پوشش می‌داد. نواحی که می‌بایست پوشش داده شوند، به مربع‌هایی تقسیم شدند و از شاخصی برای شناسایی نقطه مرکزی هر مربع استفاده شد که در این الگوریتم، مسیر به‌عنوان لیستی از این نقاط دوبعدی مرتب در نظر گرفته‌شد. این الگوریتم توانست مسیری ایجاد کند که 98٪ کل سطح مزرعه را پوشش دهد و هیچ‌گونه تقاطعی با ناحیه موانع نداشته باشد (Ryerson and Zhang, 2006).

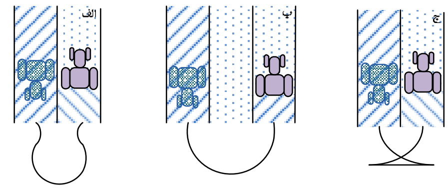
هدف اصلی از این پژوهش ایجاد و توسعه روش‌هایی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای تعیین الگوهای مناسب مسیر حرکت ماشین‌های کشاورزی در مزارع به‌منظور حداقل‌کردن مسافت طی شده و زمان تلف‌شده می‌باشد که به دنبال کمینه‌سازی این دو عامل (مسافت و زمان غیرمفید)، بازده مزرعه‌ای نیز افزایش خواهد یافت.

مواد و روش‌ها

جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات پژوهش

در این پژوهش، مزرعه‌ای مستطیلی شکل به عرض 80 متر و طول دلخواه در نظر گرفته‌شد و در آن عملیات کاشت با استفاده از تراکتور MF399 با سرعت حرکت 7 کیلومتر بر ساعت به‌عنوان وسیله کشنده به همراه ردیف‌کار کششی 6 ردیفه با عرض کار 4 متر انجام شد که در این ردیف‌کار فاصله بین خطوط کشت از 35 سانتی‌متر تا 75 سانتی‌متر قابل تنظیم بود. طول تراکتور به‌همراه ردیف‌کار 6/4 متر و شعاع دور زدن آن 5/2 متر می‌باشد. به‌منظور محاسبه زمان و مسافت غیرمفید در حین دور زدن، انواع روش‌های دور زدن (شکل 1) عملا در مزرعه انجام شد.

حداقل مسافت طی‌شده برای هر نوع دور زدن توسط یک وسیله نقلیه، بر اساس معادلات سینماتیک حرکت محاسبه می‌شود که بر اساس این معادلات، حداقل مسافت لازم برای دور زدن ماشین و حرکت از انتهای مسیر i به ابتدای مسیر j برای سه روش معمول دور زدن (دور زدن Ω، دور زدن U و دور زدن T شکل) در منطقه سر مزرعه به‌ترتیب در روابط (1) و (2) و (3) ارائه شده است (Bochtis and Vougioukas, 2008).



شکل 1- روش‌های مختلف دور زدن: الف) دور زدن حلقه‌ای ب) دور زدن بین دو مسیر دور از هم ج) دور زدن با استفاده از دنده عقب

Fig. 1. Different methods of turning: a) Cricoid turning (Ω- turn) b) turning between two paths far from each other (U- turn) c) turning by using jackshaft (T- turn)

$$d^{\Omega}_{\min} = r_{\min}\left(3\pi - 4\sin^{-1}\left(\frac{2r_{\min} + d.w}{4r_{\min}}\right)\right) \quad (1)$$

$$d^{\Pi}_{\min} = r_{\min}(\pi - 2) + d.w \quad (2)$$

$$d^{T}_{\min} = r_{\min}(\pi + 2) + d.w \quad (3)$$

که در آن r_{min} حداقل شعاع دور زدن تراکتور به‌همراه دنباله‌بند متصل می‌باشد. شعاع دور زدن به مرکز نقطه میانی فاصله بین دو چرخ عقب تراکتور در حالی‌که چرخ‌های هدایت‌کننده در حداکثر زاویه فرمان خود قرار دارند، حداقل شعاع دور زدن خواهد بود.

w عرض کار ماشین، $d = |i\text{-}j|$ برابر تفاوت شماره دو مسیر عملیاتی پشت سرهم (تعداد مسیرهای بین مسیر عملیاتی اول و مسیر بعدی) می‌باشد.

برای به‌دست آوردن داده‌های واقعی و ملموس‌تر، سه روش دور زدن عملاً در مزرعه انجام گرفت که مسافت طی‌شده و زمان تلف‌شده در هر سه روش دور زدن در جدول 1 آمده‌است.

جدول 1– مسافت و زمان به‌دست آمده برای دور زدن در سر مزرعه به سه روش معمول

Table 1- Distance and time taken to turn in headland with the three common methods

روش‌های دور زدن Turning methods	مسافت Distance (m)	زمان Time (s)
دور زدن Ω Ω - turning	32	35
دور زدن T T – turning	25	37
دور زدن U U – turning	20	23

بسته به پارامترهای سینماتیک و شرایط تحقق هر یک از معادلات تئوری ذکر شده، برای دور زدن بین 2 مسیرکنار هم، از روش دور زدن Ω و T استفاده می‌شود. در واقع دور زدن در حالت Ω و T ناشی از محدودیت حرکتی ماشین‌ها بوده و زمانی استفاده می‌شوند که نتوان از حالت U استفاده کرد. دور زدن در حالت Ω و T به فاکتورهایی مثل عرض کار ادوات دنباله‌بند، نوع اتصال، توانایی راننده، فضای دسترسی، عرض سرمزرعه و غیره بستگی دارند (Bochtis *et al.*, 2009). زمان تلف شده در این حالت برابر است با همان زمانی‌که صرف دور زدن به‌صورت Ω و T می‌شود و اگر بین دو مسیری که قصد دور زدن بین آنها را داریم، فقط یک مسیر وجود داشته باشد، آن‌گاه زمان تلف شده هنگام دور زدن برابر با زمان تلف شده در روش U خواهد بود. برای مواقعی که بیش از یک مسیر بین دو مسیری که قصد دور زدن بین آن‌ها را داریم، وجود داشته باشد، باید زمان لازم برای پیمودن فاصله بین دو مسیر را نیز به زمان تلف‌شده در روش U اضافه کرد. همان‌گونه که برای مسافت طی‌شده در این حالت گفته شد، زمان تلف‌شده در این حالت نیز برابر است با مجموع زمان تلف‌شده درروش دور زدن U و زمان تلف‌شده برای حرکت مستقیم در سرمزرعه برای رسیدن از مسیر i به مسیر j. رابطه (4) زمان تلف شده بین مسیرهای i و j را به‌دست می‌آورد.

$$T_1 = \frac{d}{v} \quad (4)$$

d طول مسیر مستقیم بین مسیرهای i تا j (متر)

v سرعت حرکت دستگاه (متر بر ثانیه)

T_1 زمان تلف‌شده در حرکت مستقیم در سرمزرعه برای رسیدن از مسیر i به مسیر j.

از مجموع T_1 و زمان تلف‌شده در روشU، زمان تلف‌شده کل در این حالت از رابطه (5) به‌دست می‌آید:

$$T_{(i,j)} = T_1 + T_U \quad (5)$$

$T_{(i,j)}$ زمان تلف‌شده برای دور زدن از مسیر i به مسیر j (ثانیه)

T_U زمان تلف‌شده در روش دور زدن U

الگوریتم ژنتیک

الگوریتم ژنتیک تکنیکی است که از تکامل ژنتیکی و اصول طبیعی به‌عنوان الگوی حل مسأله استفاده می‌کند. قانون انتخاب

طبیعی بیانگر این مسأله است که تنها گونه‌هایی از یک جمعیت می‌توانند نسل خود را ادامه بدهند که بهترین خصوصیات را داشته باشند و این خصوصیات برتر به نسل‌های بعد منتقل خواهد شد و گونه‌هایی که دارای این خصوصیات برتر نیستند به‌تدریج و در طی زمان از بین می‌روند (Bryant, 2000). الگوریتم ژنتیک یک الگوریتم مبتنی بر هوش مصنوعی و یک روش جمعیت مبناست که در تکرارهای مختلف راه‌حل‌ها را بهبود داده و یک سیر تکاملی به راه‌حل‌ها می‌دهد. الگوریتم ژنتیک از مراحل زیر تشکیل شده است:

در مرحله اول، مجموعه‌ای از راه‌حل‌ها به‌صورت تصادفی ایجاد می‌شود. هر راه‌حل مسأله را یک کروموزوم می‌نامند، هر کروموزوم از قسمت‌های کوچکتری به نام ژن تشکیل‌شده‌است. در الگوریتم ژنتیک به این مجموعه راه‌حل‌ها، جمعیت [1] گفته می‌شود.

پس از تشکیل هر نسل باید مشخص گردد که کروموزوم‌های آن نسل تا چه حد به جواب بهینه نزدیک هستند. این کار توسط تابع برازش (تابع هزینه) صورت می‌گیرد. به کمک تابع برازش می‌توان بهترین راه‌حل هر نسل را انتخاب کرد.

در مرحله بعد نسل جدیدی ایجاد می‌شود که ایجاد این نسل جدید با استفاده از یک سری از عملگرهای الگوریتم ژنتیک انجام می‌گیرد. این عملگرها عبارتند از عملگر انتخاب، عملگر تقاطع و عملگر جهش (Sivanandam and Deepa, 2008).

عملگر انتخاب

ایجاد نسل جدید از طریق تولید مثل صورت می‌گیرد که برای آن به پدر و مادر نیاز است. پدر و مادر از جمعیت فعلی و توسط عملگر انتخاب، تعیین می‌شوند. این عملگر از بین کروموزوم‌های موجود در یک جمعیت، بهترین‌ها را برای ایجاد نسل جدید انتخاب می‌کند. روش‌های انتخاب مختلفی وجود دارد که عبارتند از:

انتخاب چرخ‌گردان[2]

در این روش عدد برازش‌شده ملاک قرارگرفته و عددی که دارای بالاترین مقدار برازش باشد انتخاب می‌گردد. در واقع به این صورت عمل می‌شود که به هر عضو جامعه، یک احتمال تجمعی نسبت داده و با این احتمال، شانس انتخاب هر عضو تعیین می‌گردد.

انتخاب رقابتی[3]

یک پارامتر نظیر k تعریف شده و سپس از میان تمام اعضا به‌صورت کاملاً تصادفی k عضو انتخاب می‌شود و از میان k عضو، عضوی که شایستگی بیشتری دارد انتخاب می‌شود.

انتخاب نخبه[4]

1- Population
2- Roulette Wheel Selection
3- Competitive Selection
4- Elitist Selection

در این روش مناسب‌ترین عضو جامعه انتخاب شده و مستقیماً به نسل بعد انتقال پیدا می‌کند که این موضوع باعث حفظ همگرایی مسأله می‌شود.

عملگرتقاطع

با تلفیق دو کروموزوم، یک عضو جدید و به‌عبارت دیگر اطلاعات جدید ایجاد می‌شود. این دو کروموزوم در ژنتیک، نقش والد و عضو جدید نقش فرزند را دارد. انواع رایج تقاطع عبارتند از:

- تک نقطه‌ای: یک نقطه تصادفی انتخاب می‌شود و در آن نقطه اطلاعات دو کروموزوم تعویض می‌شود.
- دو نقطه‌ای: با انتخاب دو نقطه به‌صورت کاملاً تصادفی، اطلاعات میانی دو نقطه از خود کروموزوم گرفته شده و اطلاعات مربوط به ابتدا و انتهای دو کروموزوم با هم تعویض می‌شوند.
- یکنواخت: اطلاعات دو کروموزوم به‌صورت یکنواخت جابه‌جا می‌شود.

عملگر جهش

عملگر جهش برای به‌وجود آوردن فرزند فقط از یک والد استفاده می‌کند. این‌کار با انجام تغییرات کوچکی در رشته اولیه به وقوع می‌پیوندد.

سرانجام پس از ایجاد نسل جدید، دوباره بهترین راه‌حل (کروموزوم) این نسل انتخاب شده و با بهترین راه‌حل موجود مقایسه می‌گردد. این کار (ساخت نسل) آنقدر ادامه می‌یابد تا الگوریتم به شرط پایانی خود برسد. یعنی جواب بهینه به‌دست آید و یا زمان اجرای الگوریتم به پایان رسد.

رمزگذاری برای تعیین مسیر با الگوریتم ژنتیک

مزرعه منتخب برای شبیه‌سازی به شکل مستطیل و به عرض 80 متر و طول دلخواه در نظرگرفته شد که به روش‌های مختلف مسیرهایی در آن ترسیم شده است. محاسبات و شبیه‌سازی در نرم‌افزار متلب[5] براساس الگوریتم ژنتیک انجام شد. ورودی‌های مسأله براساس اطلاعات به‌دست‌آمده از اندازه‌گیری تنظیم و به راه‌حل‌هایی تبدیل شدند. معیار انتخاب کاندیداهای جواب بهینه از بین راه‌حل‌های موجود، ارزیابی آنها توسط تابع هزینه است که در این مسأله حداقل مسافت طی‌شده به‌عنوان معیار ارزیابی روش‌های حل، تنظیم گردید. راه‌حل‌ها بر اساس مفروضات ذیل شبیه‌سازی و اجرا گردید:

الف- هر ژن بیانگر شماره مسیر است که از به‌هم پیوستن تمام مسیرها به یکدیگر، الگوی پوشش سطح مزرعه به‌صورت یک کروموزوم تولید خواهد شد.

5- MATLAB Software

ب- کروموزوم‌های الگوریتم در این مسأله بیانگر یک ترتیب مسیر حرکت و یک جواب برای مسأله می‌باشد.

ج- عرض هر مسیر برابر با عرض‌کار دستگاه در نظر گرفته‌شد زیرا در این حالت با هر بار عبور می‌توان یک مسیر را پوشش داد.

د- براساس پارامترهای مربوط به تولیدمثل از قبیل اندازه جمعیت و تعداد تکرار، درصدی از فرزندان تولیدی از طریق تقاطع نقطه‌ای و درصدی دیگر از طریق جهش تولید شدند.

ح- در تعیین مسافت بین مسیرها (رفت و برگشت)، برای دو مسیر کنار هم (چنانچه $r_{min}>d.w$ باشد) از حالت Ω یا T، برای دو مسیری که بین آنها یک مسیر وجود داشت از حالت U و برای مسیرهایی که بین آنها بیش از یک مسیر وجود داشت از حالت U به‌صورت کشیده استفاده شد.

خ- به تعداد جمعیت اولیه، کروموزوم‌هایی که باید در ابتدا به‌عنوان والدین باشند، انتخاب شدند. هر کروموزوم به‌عنوان یک جواب برای مسأله در نظرگرفته شد. برای تولید این کروموزوم‌ها، شماره تمام مسیرها (ژن‌ها) به‌صورت تصادفی و پشت‌سرهم نوشته شد تا یک جواب برای مسأله به‌دست آید.

ن- در انتخاب والدین از بین جمعیت، با استفاده از چرخ رولت، کروموزوم‌هایی انتخاب شدند که دارای برازش بهتری بودند.

و- تعداد دفعات تکرار الگوریتم تعیین شد.

ه- با فرزندان تولیدشده، جمعیت جدیدی ایجاد گردید و مراحل فوق تکرار شد.

ی- در آخرین تکرار، بهترین کروموزوم فرزند به‌عنوان جواب مسأله معرفی گردید.

برای راحتی کار با الگوریتم ژنتیک، رمزگذاری الگوریتم ژنتیک به‌صورت چندبخشی انجام‌شد. بخش‌هایی که در کدنویسی الگوریتم ژنتیک استفاده شده‌است به‌ترتیب زیر می‌باشد:

ورودی ها

در ورودی[1]، مؤلفه‌هایی که باید به‌عنوان ورودی به الگوریتم معرفی شوند آورده شده است. که شامل: عرض مزرعه (W_1)، عرض کار دستگاه (W_2)، مسافت طی‌شده بر حسب متر و زمان تلف‌شده بر حسب ثانیه هنگام اجرای روش‌های مختلف دور زدن می‌باشد.

ماتریس فواصل

در بخش مربوط به ماتریس فواصل[2]، روابط مربوط به نحوه محاسبه فاصله بین مسیرهای حرکت آورده شده است. الگوریتم در طول کار خود با استفاده از این روابط، فاصله تمام مسیرها از یکدیگر را به‌دست می‌آورد.

تنظیم پارامترها

1- Inputs Section
2- Distance Matrix Section

در قسمت تنظیمات پارامترها[3]، پارامترهای مربوط به تولیدمثل، از قبیل اندازه جمعیت، تعداد تکرار، درصد فرزندان تولیدی از طریق تقاطع و درصد فرزندان تولیدی از طریق جهش، وارد شده است.

بخش جمعیت اولیه

در بخش جمعیت اولیه[4]، نحوه محاسبه جمعیت اولیه تعیین شده است. برای این کار کروموزوم‌هایی که ژن‌های آنها از به‌هم ریختن کاملاً تصادفی شماره مسیرهای حرکت تشکیل شده است، ایجاد می‌شوند. تعداد کل جواب‌ها با اندازه جمعیت که در بخش قبلی تعیین شد، برابر است.

حلقه اصلی الگوریتم

در حلقه اصلی الگوریتم[5]، محاسبات اصلی برای پیدا کردن جواب بهینه مسأله انجام شده است. در این بخش، الگوریتم، فرزندان جدیدی بر اساس تقاطع و جهش تولید می‌کند. دو عملگر تقاطع و جهش در این قسمت به‌صورت تابع نوشته می‌شوند.

تابع مربوط به عملگر تقاطع

در این قسمت روابط مربوط به‌عمل تقاطع آورده شده است که در این پژوهش از روش تقاطع یک نقطه‌ای استفاده شده است.

تابع مربوط به عملگر جهش

در این قسمت روابط مربوط به‌عمل جهش آورده شده است. در این پژوهش از روش جهش در کروموزوم‌های با متغیر حقیقی استفاده شده است.

تابع برازش جواب‌های مسأله

در قسمت محاسبه برازش، مسافت غیرمفید پیموده‌شده در بین مسیرها برای جواب‌هایی که از الگوریتم به‌دست می‌آید، محاسبه می‌شود.

نتایج

نتایج حاصل از الگوریتم شامل: بهترین راه‌حل، بهترین برازش، زمان انجام محاسبات و شکل مربوط به تعداد تکرار و برازش در این بخش کددهی می‌شوند.

انواع الگوهای تردد

برای محاسبه‌ی میزان تأثیر روش‌های مختلف دور زدن، برکل مسافت غیرمفید طی‌شده در حین انجام عملیات کشاورزی در مزرعه، مسافت طی‌شده غیرمفید 5 الگوی کاری (4 ترتیب حرکت سنتی و 1 ترتیب هوشمند) با یکدیگر مقایسه گردید. گام اول ایجاد مسیرهای تردد بود، به‌گونه‌ای که کل مزرعه توسط مسیرهای ایجاد شده تحت پوشش قرار گیرند و گام دوم تعیین اولویت تردد در مسیرهای ایجاد

3- Parameter Setting
4- Initial Population
5- Algorithm Main Loop

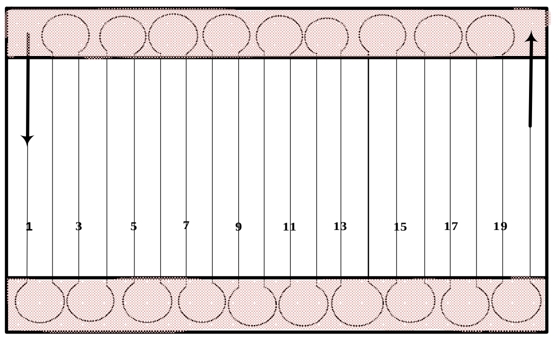
شده بود. مزرعه فرضی 20 برابر عرض کار ماشین در نظر گرفته شد، سپس اولویت مسیرهای تردد براساس 5 مدل زیر مورد بررسی قرار گرفت.

الگوی تردد پیوسته

این روش حرکت از مسیر 1 در ابتدای عرض مزرعه شروع شده و سپس به‌ترتیب تا مسیر 20 ادامه می‌یابد تا کل مزرعه را به‌ترتیب ذیل پوشش دهد (شکل 2):

$$\sigma^{\text{پیوسته}} = \{1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19,20\}$$

در این روش چون بعد از هر مسیر، حرکت از مسیر کناری ادامه می‌یابد، لذا تمام دور زدن‌ها به روش Ω انجام خواهد شد. که طبق جدول 1، در این روش دور زدن، در مقایسه با روش دور U، مسافت بیشتری پیموده خواهد شد.



شکل 2- نحوه حرکت در روش پیوسته

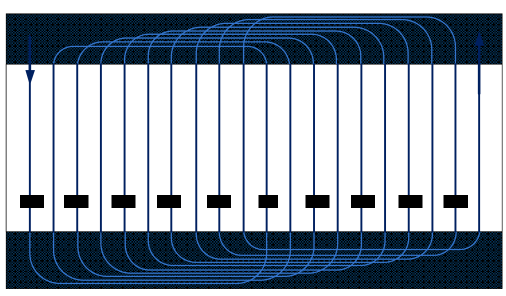
Fig. 2. Form of travelling in contiguous method

الگوی تردد مارپیچ

در روش دیگر شروع حرکت همچنان از مسیر 1 آغاز شده و دومین مسیر از وسط مزرعه یعنی از مسیر 11 ادامه می‌یابد. در ادامه حرکت از مسیر دوم شروع شروع شده و برگشت آن از مسیر 12 ادامه می‌یابد (شکل 3) و این الگوی حرکت مطابق ترتیب زیر تا اتمام کل مساحت مزرعه تداوم می‌یابد.

$$\sigma^{\text{مارپیچ}} = \{1,11,2,12,3,13,4,14,5,15,6,16,7,17,8,18,9,19,10,20\}$$

در این حالت مسافتی که در دور زدن بین مسیرهای مختلف در سر مزرعه طی می‌شود، با هم برابر است؛ چون فاصله مسیرهایی که باید بین آنها دور زدن انجام می‌شود، برابر است.



شکل 3- نحوه حرکت در روش مارپیچ

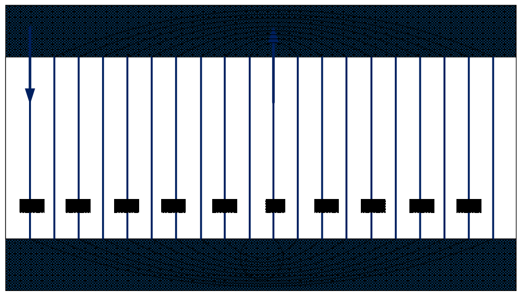
Fig. 3. Form of travelling in spiral method

الگوی تردد دور تا دور

در این الگو می‌توان از روش حرکت از کناره‌ها و اتمام عملیات در مرکز مزرعه استفاده کرد. در این حالت باید از مسیر شماره 1 شروع به حرکت نموده، در سر مزرعه دور زده و به سمت مسیر 20 وارد شد. در

ادامه از مسیر 20 به سمت مسیر 2 رفته و به این ترتیب عملیات را ادامه داد تا با رسیدن به وسط مزرعه و با حرکت از مسیر 10 به مسیر 11 کار را به پایان رساند (شکل 4). در انتها برای حرکت از مسیر 10 به مسیر 11 باید از روش دور زدن Ω استفاده کرد. در این روش حرکت، ترتیب مسیر به‌صورت زیر می‌باشد:

$$\sigma^{\text{دورتادور}} = \{1, 20, 2, 19, 3, 18, 4, 17, 5, 16, 6, 15, 7, 14, 8, 13, 9, 12, 10, 11\}$$



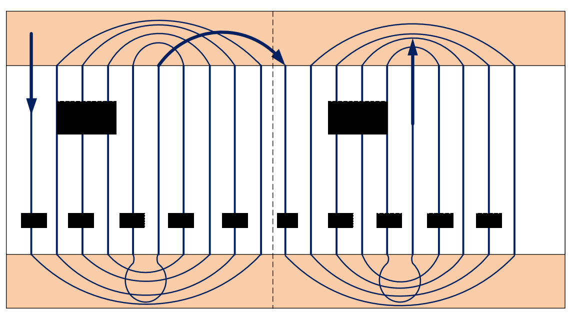
شکل 4- نحوه حرکت در حالت دورتادور

Fig. 4. Form of travelling in round method

الگوی تردد بلوک‌بندی

به‌منظور کاهش تردد غیرمفید، می‌توان مزرعه را به دو یا چند بلوک مجزا تقسیم کرده و در هر بلوک به‌صورت یک مزرعه مستقل، از الگوی حرکت نوع سوم استفاده نمود (شکل 5). در محاسبه مسافت غیرمفید طی‌شده برای کل مزرعه، مسافت طی‌شده از انتهای آخرین مسیر بلوک اول تا ابتدای اولین مسیر بلوک دوم نیز محاسبه می‌شود. اولویت مسیر تردد بر اساس ترتیب زیر مشخص خواهد شد.

$$\sigma^{\text{بلوک‌بندی}} = \{1, 10, 2, 9, 3, 8, 4, 7, 5, 6, 11, 20, 12, 19, 13, 18, 14, 17, 15, 16\}$$



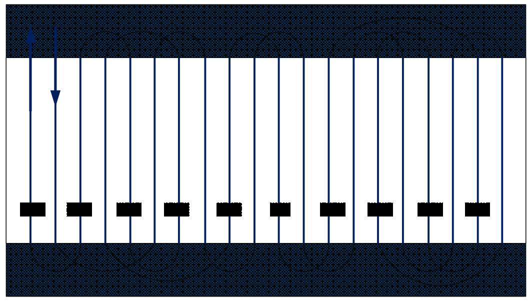
شکل 5- نحوه حرکت در حالت بلوک‌بندی

Fig. 5. Form of travelling in block method

الگوی تردد هوشمند

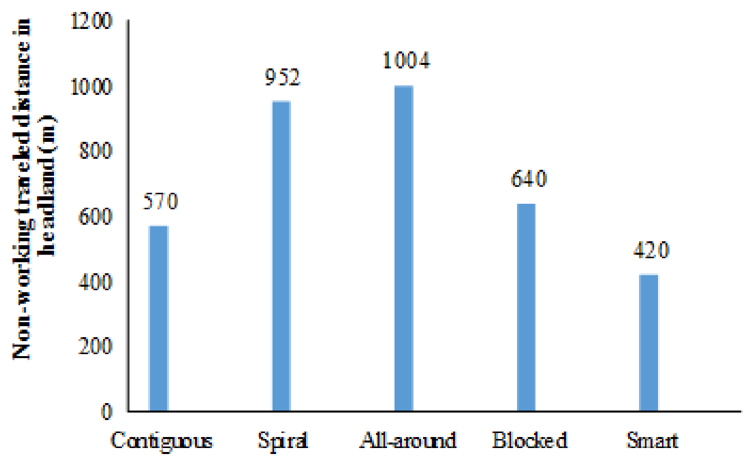
در روش‌های متداول (روش های سنتی و مرسوم) الگوی حرکت در مزرعه مستطیلی شکل که شرح داده شد، مقدار مسافت غیرمفید طی‌شده از مقدار بزرگ‌تری برخوردار است. چنانچه قبلاً ذکر شد، الگوی حرکتی پیشنهادی این پژوهش، استفاده از الگوریتم ژنتیک می‌باشد. از جمله مهمترین مشخصه این الگوی حرکتی که در دیگر الگوهای حرکتی رعایت نشده است، شروع و خاتمه عملیات زراعی در مجاورت جاده فرضی است، که علاوه بر تسهیل دسترسی به جاده، در کاهش مسافت غیرمفید نیز تأثیر قابل ملاحظه‌ای خواهد داشت. در صورت عدم مجاورت با جاده منتهی به مزرعه نیز، قرار گرفتن محل شروع و خاتمه عملیات در مجاور هم، حرکت ماشین از انبار به مزرعه و بالعکس تسهیل می‌شود. یک نمونه از ترتیب مسیرهای بهینه در این الگوی حرکت به‌صورت زیر می‌باشد:

$$\sigma^{\text{هوشمند}} = \{2, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 15, 17, 19, 13, 11, 9, 4, 7, 5, 3, 1\}$$



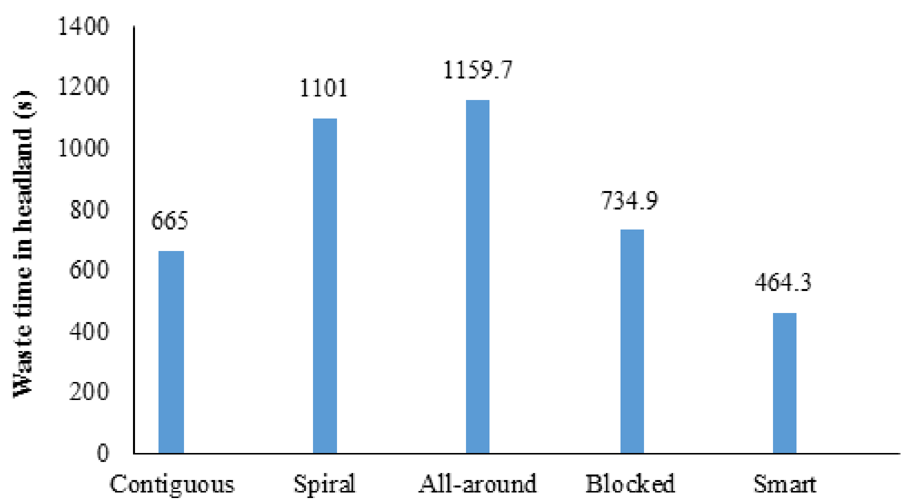
شکل 6- ترتیب حرکت بهینه

Fig. 6. Optimal travelling arrangement



شکل 7- مجموع مسافت غیرمفید طی‌شده در منطقه سر مزرعه در ترتیب مسیرهای مختلف

Fig. 7. Travelled non-working distance in headland area in different routes arrangement



شکل 8- تلفات زمانی برای دور زدن در سر مزرعه در ترتیب مسیرهای مختلف

Fig. 8. Time loss in headland for turning in different routes arrangement

نتایج و بحث

نتایج به‌دست‌آمده از شبیه‌سازی الگوی تردد ماشین‌ها طی الگوهای بحث شده، در شکل 7 و 8 ترسیم شده‌است.

نتایج به‌دست‌آمده در ترتیب حرکت بهینه حاصل از الگوریتم ژنتیک، کمترین مسافت طی‌شده و کمترین زمان صرف شده غیرمفید در سر مزرعه را نسبت به روش‌های مرسوم نشان می‌دهد و طبق محاسبات انجام شده، روش بهینه از نظر مسافت و زمان غیرمفید در مقایسه با الگوی پیوسته به‌ترتیب، 27٪ و 31٪، در مقایسه با الگوی مارپیچ، 56٪ و 58٪، در مقایسه با الگوی دور تا دور، 59٪ و 60٪، همچنین در مقایسه با الگوی بلوک‌بندی 35٪ و 37٪ صرفه‌جویی می‌کند و در کل به‌طور میانگین 45٪ نسبت به الگوهای مرسوم، مسافت غیرمفید طی‌شده، 47٪ زمان غیرمفید صرف‌شده را کاهش می‌دهد. دلیل این امر پرهیز از روش‌های دور زدن Ω و T می‌باشد که طبق جدول 1 نسبت به روش U مسافت بیشتری باید برای اجرای آنها طی شود. چون در روش‌های Ω و T، مسیر بعدی دقیقاً در کنار مسیر فعلی است پس باید بعد از اتمام کار در یک مسیر، برای قرار گرفتن در ابتدای مسیر بعدی، در حالت Ω از لبه مزرعه فاصله گرفت و عملیات دور زدن را روی یک دایره بزرگتری انجام‌داد و همچنین در حالتT، ابتدا باید رو به جلو حرکت کرد و سپس با دنده عقب ماشین را به عقب کشید تا بتواند در ابتدای مسیر بعدی قرار گیرد. از طرفی مقدار خستگی ناشی از این روش دور زدن و تلفات زمانی ناشی از آن به مراتب بیشتر از روش دور زدن U مورد استفاده در الگوی الگوریتم ژنتیک است. ولی در حالت U چون مسیر بعدی از مسیر فعلی فاصله دارد به راحتی می‌توان در لبه مزرعه حرکت کرد و خود را بدون انجام دادن مانورهای سخت به مسیر بعدی رساند.

پژوهشگران دیگر نیز نتایج مشابهی گزارش کردند، به‌طوری‌که آن‌ها با تحقیق بر روی دو مزرعه A و B و با استفاده از الگوریتم کلونی مورچگان و به‌دست‌آوردن ترتیب بهینه در مقایسه با سایر روش‌های مرسوم، مسافت غیرمفید به میزان قابل‌توجهی کاهش یافته است. مسافت غیرمفید در ترتیب بهینه در مزرعه A، 171/9 متر و در مزرعه B، 352 متر به‌دست آمده که در مقایسه با روش‌های مرسوم، مسافت غیرمفید طی‌شده در دو مزرعه A و B به‌طور میانگین تا 40% کاهش یافته است (Bakhtiari *et al*., 2011). همچنین در پژوهشی دیگر مقایسه‌ای بین روش‌های سنتی و روش بهینه انجام یافته که در این مقایسه، مسافت غیرمفید برای مزارع کوچک در روش پیوسته 174/4 متر، در روش بلوک‌بندی با 7 مسیر، 132/35 متر، در روش بلوک‌بندی با 5 مسیر، 152/84 متر و در روش بهینه 99/65 متر به‌دست آمده است. برای سه مزرعه بزرگ جدا از هم نیز مسافت غیرمفید در ترتیب بهینه برابر 616/68 متر و در حالت سنتی برابر با 1071/81 متر به‌دست آمده است (Bochtis *et al*., 2008). نتایج حاصل از تحقیق فوق نشان می‌دهد که با استفاده از الگوی بهینه، مسافت غیرمفید هم برای مزارع کوچک و هم برای مزارع بزرگ تا 43٪ کاهش یافته است.

با توجه به نتایج به‌دست آمده از این پژوهش که 45٪ کاهش در مسافت غیرمفید و 47٪ کاهش در زمان غیرمفید را نشان می‌دهد، مشاهده می‌شود که نتایج این پژوهش کاملاً با نتایج سایر پژوهشگران هم‌خوانی دارد و اغلب تحقیقات صورت گرفته در این زمینه حاکی از آن است که استفاده از روش‌های هوشمند و الگوی تردد بهینه در حرکت ماشین‌های زراعی می‌تواند مسافت طی شده غیرمفید و به تبع آن زمان تلف‌شده غیرمفید را تا 50٪ کاهش دهد.

نتیجه‌گیری

هدف اساسی این پژوهش، ایجاد و توسعه روشی مبتنی بر الگوریتم ژنتیک برای تعیین الگوی مناسب مسیر حرکت ماشین‌های کشاورزی در مزارع به منظور حداقل‌کردن مسافت طی‌شده و زمان تلف شده می‌باشد. الگوریتم ژنتیک با استفاده از داده‌های ورودی اندازه‌گیری شده و با استفاده یک سری عملگرهای خاص، الگوی بهینه تردد ماشین‌آلات در مزرعه را ارائه نمود، که این الگوی بهینه با 4 الگوی تردد مرسوم مقایسه شد که در کل به‌طور میانگین 45% در مسافت و 47٪ در زمان غیرمفید صرفه‌جویی نمود. بی‌شک این روش در ناوبری‌های اتوماتیک قابل اجراست و بسیاری از مشکلات مسافت‌های غیرمفید را حل خواهد نمود اما امکان پیاده‌سازی آن توسط اپراتور در ناوبری‌های معمول نیز وجود دارد. اگرچه ممکن است پیاده‌سازی این روش توسط اپراتور با خطاهایی همراه باشد، اما استفاده از ابزارهای کمکی نظیر ابزارهای مکان‌یاب و لایت بار می‌تواند خطای انسانی این الگو را به حداقل برساند، لذا نتایج این پژوهش می‌تواند به کمک ابزارهای پیشنهادی در مزرعه اجرا شود.

References

1. Bakhtiari, A. A., H. Navid, J. Mehri, and D. D. Bochtis. 2011. Optimal route planning of agricultural field operations using ant colony optimization. Agricultural Engineering International: CIGR Journal 13 (4), Manuscript No.1939.
2. Bochtis, D. D., and S. G. Vougioukas. 2008. Minimising the non-working distance travelled by machines operating in a headland field pattern. Biosystem Engineering 101 (1): 1-12.

3. Bochtis, D. D., S. G. Vougioukas, H. W. Griepentrog, and N. A. Anderson. 2008. Effect of capacity constrates on the motion pattern of an autonomous orchard sprayer. In proceeding of agricultural and biosystems engineering for a sustainable world, EuAgEng, Crete, Greece. 8pp.
4. Bochtis, D. D., S. G. Vougioukas, and H. W. Griepentrog. 2009. A mission planner for an autonomous tractor, Transactions of ASABE, 52 (5): 1429-1440.
5. Bryant, K. 2000. Genetic algorithm and the traveling salesman problem. Department of mathematics. Hervey Mudd college. Claremont, California, United States.
6. Choset, H., and P. Pignon. 1997. Coverage path planning: The Boustrophedon cellular decomposition. International conference on field and service robotics. Canberra, Australia.
7. Jin, J., and L. Tang. 2010. Optimal coverage path planning for arable farming on 2D surfaces. Transactions of the ASABE 53 (1): 283-295.
8. Keicher, R., and H. Seufert. 2000. Automatic guidance for agricultural vehicles in Europe. Computers and Electronics in Agriculture 25: 169-194.
9. Mazidi, M., M. H. Abbaspour-Fard, and M. H. Aghkhani. 2014. Checking the guidance possibility of unmanned tractor based on wireless transmission of video image. Journal of Agricultural Machinery 4 (2): 166-175. (In Farsi).
10. Mesri Gundoshmian, T. 2016. Mechanization of agricultural industries (Strategies and approaches in biosystem industries). University of Mohaghegh Ardabili Press, Ardabil, Iran.
11. Moghimi, A., M. H. Aghkhani, M. R. Golzarian, A. Rouhani, and Ce. Yang. 2015. A robo-vision algorithm for automatic harvesting of green bell pepper. ASABE annual international meeting, New Orleans, Louisiana.
12. Ryerson, A. E., and Q. Zhang. 2006. Vehicle path planning for complete field coverage using genetic algorithms. In proceedings of the automation technology for off-road equipment (ATOE) 2006 conference, Bonn, Germany (pp. 309–317).
13. Sivanandam, S. N., ans S. N. Deepa. 2008. Introduction to Genetic Algorithm. Publisher: Springer-Verlag. Berlin Heidelberg, Germany.

Journal of Agricultural Machinery
Vol. 8, No. 1, Spring - Summer 2018, p. 93-104

نشریه ماشین‌های کشاورزی
جلد 8، شماره 1، نیمسال اول 1397، ص 104-93

Path Planning for On-Farm Machinery in Rectangular Fields using Genetic Algorithm

T. Mesri Gundoshmian[1*]- F. Keyhani Nasab[2]- Gh. Shahgholi[3]- E. Abdollahi[4]
Received: 26-04-2016
Accepted: 17-08-2016

Introduction

Today, most of the agricultural machines for doing agricultural operations and covering the entire farm, must move in the farm, and travel a certain distance without doing anything useful. Common agricultural machines are controlled by human beings using habits, machinery models, and personal experiences without using computer-based tools. This trend leads to repetitive patterns and affect farm efficincy. Therefore, applying optimization techniques in determining the optimum pattern and track for on-farm machinery would be very effective.

One of the main problems of conventional movement patterns on farms is the time wasted on moving towards the end of the field, which will have a big impact on field efficiency. The purpose of this study is to reduce the useless distance traveled by agricultural machines using genetic algorithm while moving on the farm and going from one track to the next, and, consequently, increase farm efficiency.

Materials and Methods

In this study, the rectangle farm that was 80 meters wide and had an arbitrary length was selected for simulation, and different types of turning methods were tested. The calculations and simulation were based on genetic algorithm using the MATLAB 2013 software. In this case, the minimum traveled distance was set as solution evaluation criterion. The solutions were applied and simulated according to these assumptions: Each gene was considered a track number, and the algorithm's chromosomes were produced by connecting all the tracks to each other,. The width of each track was considered equal to the width of the machine, and based on reproduction parameters such as population size and the number of repetitions, a percentage of the children were produced through point intersection and another percentage were produced through mutation. In determining the distance between the tracks, Ω or T or U were used for two adjacent tracks, U was used for two tracks that had a track between them, and a longer U was used for tracks that had more than one track between them.

Based on the number of the initial population, the chromosomes that were supposed to be parents at the beginning were selected. The children produced new population was created and the above steps were repeated. During the last repetition, the best child chromosome was introduced as the answer.

In order to calculate the effects of different methods of turning on the non-working distance covered during agricultural operations, the non-working distance traveled during 5 orders of movement, including 4 traditional orders (continuous, spiral, all-around, and blocked) and 1 smart order were compared to each other.

In the continuous pattern, because movement continues in the next track at the end of each track, all the turnings are inevitably done in the Ω way, and thus a greater distance is travelled compared to the U way. In the spiral pattern, the distance travelled in turnings between different tracks on the farm is equal. In the all-around pattern, movements are done from the sides and the operation is concluded at the center of the farm; therefore, the long U method of movement is used at the end of all the tracks, and Ω turning is used for the last track at the center of the farm. In the blocked pattern, the farm is devided into two or more blocks, and the all-around movement pattern is used in each block as an independent farm. In the smart movement pattern, the beginning and ending of the agricultural operations are considered in the vicinity of the hypothetical road which, in addition to facilitating access to the road, had a significant impact on reducing the useless distance traveled on the farm.

1- Associate Professor of Biosystems Engineering Department, University of Mohaghegh Ardabili
2- MS.c Student of Agricultural Mechanization, University of Mohaghegh Ardabili
3- Associate Professor of Biosystems Engineering Department, University of Mohaghegh Ardabili
4- Former MS.c Student of Agricultural Mechanization, University of Mohaghegh Ardabili
(*- Corresponding Author Email: mesrigtm@uma.ac.ir)

Results and Discussion

The final optimum pattern was compared to traditional patterns in the form of charts. The optimum pattern of movement which uses smart genetic algorithm and avoids long turning methods (such as, Ω and T) leads to reduced wasted time and distance traveled by agricultural machines and increased field efficiency and also, decreasing the non-working traveled distance and waste time approximately, 45 % and 47 % respectively. This is due to avoiding turning methods of Ω and T (compared to the U method). Also, the fatigue resulting from these approaches and their wasted time is greater than U method used in the genetic algorithm pattern.

Conclusions

The optimum pattern of movement which uses smart genetic algorithm was compared to conventional patterns that showed significant saving in non- working distance and waste time in farm. This optimum pattern can be implemented in automatic navigation but there is the possibility of its implementation by operators in common navigation.

Keywords: Field efficiency, Genetic algorithm, Pattern of traffic, Route planning